

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicant(s): SHIBATA, et al.
Serial No.: Not yet assigned
Filed: November 4, 2003
Title: METHOD AND APPARATUS FOR INSPECTING DEFECTS
Group: Not yet assigned

LETTER CLAIMING RIGHT OF PRIORITY

Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

November 4, 2003

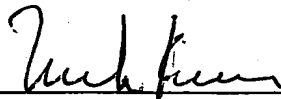
Sir:

Under the provisions of 35 USC 119 and 37 CFR 1.55, the applicant(s) hereby claim(s) the right of priority based on Japanese Patent Application No.(s) 2002-321964, filed November 6, 2002.

A certified copy of said Japanese Application is attached.

Respectfully submitted,

ANTONELLI, TERRY, STOUT & KRAUS, LLP



Melvin Kraus
Registration No. 22,466

MK/alb
Attachment
(703) 312-6600

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出願年月日
Date of Application:

2002年11月 6日

出願番号
Application Number:

特願2002-321964

[ST.10/C]:

[JP 2002-321964]

出願人
Applicant(s):

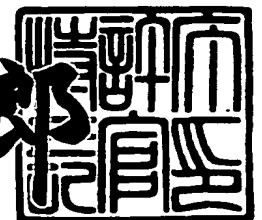
株式会社日立製作所



2003年 5月13日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

太田信一郎



出証番号 出証特2003-3035578

【書類名】 特許願

【整理番号】 K02009021A

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G01N 21/01

【発明者】

 【住所又は居所】 神奈川県横浜市戸塚区吉田町 2 9 2 番地 株式会社日立製作所生産技術研究所内

 【氏名】 芝田 行広

【発明者】

 【住所又は居所】 神奈川県横浜市戸塚区吉田町 2 9 2 番地 株式会社日立製作所生産技術研究所内

 【氏名】 前田 俊二

【発明者】

 【住所又は居所】 神奈川県横浜市戸塚区吉田町 2 9 2 番地 株式会社日立製作所生産技術研究所内

 【氏名】 渡辺 正浩

【特許出願人】

 【識別番号】 000005108

 【氏名又は名称】 株式会社 日立製作所

【代理人】

 【識別番号】 100075096

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 作田 康夫

【手数料の表示】

 【予納台帳番号】 013088

 【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

 【物件名】 明細書 1

 【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1
【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 欠陥検査方法及びその装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

照明光を第 1 の複屈折プリズムと第 2 の複屈折プリズムとで 4 光束に分割し、該分割した 4 光束を対物レンズを介して試料に照射し、該照射による前記試料からの反射光を前記対物レンズと前記第 2 の複屈折プリズム及び前記第 1 の複屈折プリズムを介して合成し、該合成した光を結像させ、該結像した光を検出して前記試料の画像を得、該得た画像を用いて前記試料の欠陥を検出することを特徴とする欠陥検査方法。

【請求項 2】

前記 4 光束に分割した光を前記対物レンズを介して前記試料に照射するときに、前記対物レンズの外側から前記試料に斜方から照明光を照射することを特徴とする請求項 1 記載の欠陥検査方法。

【請求項 3】

前記合成された光の電界ベクトルについて、試料の平坦部で反射した光の振幅を抑制して光学像を形成することを特徴とする請求項 1 記載の欠陥検査方法。

【請求項 4】

試料に形成された 2 方向以上のパターンの回折方向に対応した照明光が、前記試料に対して楕円偏光の長軸が同一条件となるように照明し、前記試料で反射した光のうち特定方向の偏光ベクトル成分のみを用いて画像を形成し、この画像を用いて欠陥を検出することを特徴とする欠陥検査方法。

【請求項 5】

表面にパターンが形成された基板を電界ベクトルの方向が揃った 4 つの偏光光束で対物レンズを介して照明し、該照明により前記対物レンズに入射した前記基板からの反射光による光学像をセンサ面上に結像させて前記基板を撮像し、該撮像して得た画像を処理することにより前記基板の表面の欠陥を検査することを特徴とする欠陥検査方法。

【請求項 6】

前記基板からの反射光のうち、0次光の光量と電界ベクトルの方向を調整して光学像を形成することを特徴とする請求項5記載の欠陥検査方法。

【請求項7】

明視野照明光と暗視野照明光で試料を照明し、前記明視野照明光と前記暗視野照明光の光量配分を偏光ビームスプリッタに入射する電界ベクトルの方向で調整し、明視野照明と暗視野照明で形成された像を用いて比較検査することを特徴とする欠陥検査方法。

【請求項8】

表面にパターンが形成された基板を照明し、該照明した基板を撮像し、該撮像して得た画像を処理することにより前記基板の表面の欠陥を検査する方法であって、前記基板の表面に形成されたパターンの種類に応じて前記基板の照明を、明視野照明または明視野照明と暗視野照明との組合わせの何れかに切り替えることを特徴とする欠陥検査方法。

【請求項9】

前記明視野照明は、微分干渉が可能な照明であることを特徴とする請求項6または8に記載の欠陥検査方法。

【請求項10】

光源と、該光源から発射された光を4つの光束に分割して表面にパターンが形成された基板を照明する照明手段と、該照明手段により照明された前記基板からの前記4つの光束によるそれぞれの反射光を合成して前記照明された基板の光学像を形成する結像手段と、該結像手段で結像した前記基板の光学像を検出して前記毛版の画像を得る画像取得手段と、該画像取得手段で取得した画像を処理して前記基板上の欠陥を検出することを特徴とする欠陥検査装置。

【請求項11】

前記照明手段は、2つの複屈折率プリズムを備え、該2つの複屈折率プリズムの内の一方で前記光源から発射された光を2つの光束に分割し、他方の複屈折率プリズムで前記2つに分割されたそれぞれの光束を更に2つづつに分割することを特徴とする請求項10記載の欠陥検査装置。

【請求項12】

前記照明手段は、前記基板を照明する４つに分割された光束の偏光方向を調整する第１の偏光調整部を有し、前記結像手段は、前記基板からの前記４つの光束によるそれぞれの反射光を合成した光束の偏光方向を調整する第２の偏光調整部を有することを特徴とする請求項１０記載の欠陥検査装置。

【請求項１３】

前記光源から発射された光を分岐する分岐手段を更に備え、該分岐手段で分岐した一方の光を前記照明手段に入射させ、他方の光を前記基板を斜方から照明する斜方照明手段に入射させることを特徴とする請求項１０記載の欠陥検査装置。

【請求項１４】

光源と、該光源から発射された光を２つの光路に分岐する分岐手段と、該分岐手段で分岐された一方の光を対物レンズを介して表面にパターンが形成された基板を照明する明視野照明手段と、前記分岐手段で分岐された他方の光を前記対物レンズの外側から前記基板を斜方照明する暗視野照明手段と、前記明視野照明手段と前記暗視野照明手段とにより照明された前記基板から反射して前記対物レンズを透過した光により前記基板の光学像を形成する結像手段と、該結像手段で結像した前記基板の光学像を検出して前記基板の画像を得る画像取得手段と、該画像取得手段で取得した画像を処理して前記基板上の欠陥を検出することを特徴とする欠陥検査装置。

【請求項１５】

前記明視野照明手段は、前記分岐手段で分岐された光を４つの光束に分割する光束分割部を備えていることを特徴とする請求項１４記載の欠陥検査装置。

【請求項１６】

前記明視野照明手段は前記分岐手段で分岐された光の偏光方向を調整する第１の偏光調整部を備え、前記結像手段は前記明視野照明手段と前記暗視野照明手段とにより照明された前記基板から反射して前記対物レンズを透過した光の偏光方向を調整する第２の偏光調整部を備えていることを特徴とする請求項１４記載の欠陥検査装置。

【発明の詳細な説明】

【０００１】

【発明の属する技術分野】

本発明は、半導体製造工程やフラットパネルディスプレイの製造工程に代表される薄膜プロセスを経て基板上に形成されたパターンの欠陥や異物欠陥などの検査や観察に用いる光学系とこの光学系を用いた欠陥検査方法及びその装置、並びに検査情報の効率的な活用方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

マスク検査を対象とした光学系として、特許文献1がある。この光学系はマッハチエンダー型の干渉系を構成しており、マスクの表面をシェアリングした2光束で照明し、マスクで反射した2光束を干渉させる。これにより、マスク表面の凹凸欠陥を高感度に検出しようとするものである。

【0003】

【特許文献1】

特開平8-218165号公報

【0004】

【発明が解決しようとする課題】

この構成では、シェアリングされた2光路の光路長が長くなる。このため、外乱や可動部からの振動により分岐された光路で光路差が生じる。このため、像面の干渉強度は、1) マスク表面の凹凸による2光束の光路差 2) 振動による2分岐された光路の光路差 の和に対応した強度となる。このうち、振動による2分岐された光路の光路差は時間的に変動するため、時間的に干渉強度（像の明るさ）が変動してしまう。この干渉強度の変動は、マスク表面の欠陥を検出する上でのノイズ成分となる。このため、マスク表面の欠陥を高感度に検出できないという課題があった。また、2光束にシェアリングした光を検査対象に照明し、干渉した像を検出することによりシェアリング方向には縦分解能が向上するが、シェアリングと直交する方向の縦分解能は向上しない。このため、縦分解能に方向性が生じ、検査対象とする欠陥の方向に応じて検査感度が異なる問題があった。

【0005】

また、検査対象によっては、金属配線工程がある。この金属配線では、表面に

グレインと称する微小な凹凸が生じる。このグレインは、デバイスにとって致命性はないため、欠陥として検出するべきではない。しかし、干渉光学系は、凹凸（光路差）を顕在化するものであり、金属配線工程のウェハでは干渉光学系による凹凸の顕在化が不利になる。本発明ではグレインのある検査工程（検査対象例：金属〔A1等〕配線工程）では凹凸を低コントラスト化し、グレインのない工程では凹凸を顕在化する光学条件に設定できることを特徴とする光学系を提供できるものである。また、検査感度を向上するためには、干渉光学系による縦分解能の向上だけではなく、横分解能を向上させる必要がある。

【0006】

本発明の目的は、従来に技術では十分に考慮されていなかった光学系の振動などによる干渉光強度の時間的な変動を抑制すると共に、縦分解能の方向依存性を低減した光学系を備えた欠陥検査方法及びその装置を提供することにある。

【0007】

また、本発明の目的は、デバイスに致命性のない表面の凹凸を欠陥として検出しないような光学系を備えた欠陥検査方法及びその装置を提供することにある。

【0008】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するために、本発明では、第1の複屈折プリズムでシェアリングした2光束を1/2波長板で偏光方向を45°回転させ、第1の複屈折プリズムでシェアリングされた方向と直交する方向にシェアリングさせるように配置した第2の複屈折プリズムで対象物を4光束照明し、この4光束は、同一のレンズを伝搬して検査対象を照明することにより、光学系の振動等に起因した干渉強度の変動を抑制するようにした。また、直交した2方向シェアリングにより、縦分解能の方向依存性を低減するようにした。

【0009】

また、本発明では、デバイスに致命性のない凹凸がある検査対象では、明暗視野複合照明により凹凸の低コントラスト化を図り、欠陥としての検出を抑制するようにした。

【0010】

さらに、本発明では、0次光の振幅・位相を制御することにより横分解能を向上させ、検査感度の向上を図るようにした。

【0011】

【発明の実施の形態】

例えば、半導体ウェハの検査工程には大きく分けてトランジスタレイヤと金属配線レイヤがある。トランジスタレイヤでは形成されたパターンの微小な凹凸がデバイスにとって致命的な欠陥となる可能性が高く、検査装置としては凹凸欠陥を検出すべきである。これに対して金属配線レイヤではグレインなどの凹凸はデバイスにとって致命性がないため、欠陥として検出すべきではない。このため、凹凸がデバイスにとって致命性があるかどうかによって凹凸を顕在化すべきか、凹凸を低コントラスト化すべきかが決まる。従って、半導体ウェハの検査工程を1台の装置で行うためには、凹凸を顕在化する光学条件と低コントラスト化する光学条件をそれぞれ設定可能なように構成しておく必要がある。

【0012】

図1にウェハ1上の凹凸を顕在化する光学系について示す。ウェハを照明する入射偏光7は、複屈折プリズム200により電界ベクトルが直交する2光束にシェアリングされる。2光束710、720にシェアリングされた偏光は1/2波長板215で45°偏光方向を回転させる。この偏光を上記複屈折プリズム200と直交した方向にシェアリングさせるように配置した複屈折プリズム220で直交した4光束711、712、721、722にシェアリングする。この4光束が対物レンズ30を介してウェハ1を落射照明し、それぞれの光束が反射した位置の高さに応じて4光束の反射光711'、712'、721'、722'が光路差を受ける。反射した4光束711'、712'、721'、722'は、対物レンズ30、複屈折プリズム220、1/2波長板215及び複屈折プリズム200を通過し、4光束711'、712'、721'、722'が1光束7'に合成される。合成された光束は位相差に応じた偏光状態となり、特定の電界ベクトルのみを検出することにより、ウェハ1の凹凸を顕在化できる。特定の電界ベクトルを検出する構成として、特定の電界ベクトルを透過するアナライザや偏光ビームスプリッタ等がある（図示せず）。これらの構成により、像面で形成される

光学像はウェハ1の凹凸に対応した位相差を明るさとして検出することが可能となる。図2に、それぞれの光学要素を透過した光の偏光状態を示す。図2(a)に複屈折プリズム200のシェアリング方向230と入射偏光方向207の状態を示す。複屈折プリズム200を透過した光は、直交した2光束710と720にシェアリングされる(図2(b))。この2光束233の振動方向は直交している。1/2波長板の結晶軸は、複屈折プリズム200のシェアリング方向に対して、 22.5° の角度をなしている。この1/2波長板を透過した光は、振動方向が 45° 回転した偏光となる(図2(c))。この2光束710と720を第2の複屈折プリズム220に入射させる。この第2の複屈折プリズム220のシェアリング方向230'は、第1の複屈折プリズム200のシェアリング方向230に対して直交した方向に設定されている。この第2の複屈折プリズム220を透過した光は、シェアリング方向が直交した4光束711, 712, 721, 722の直線偏光となって(図2(d))、ウェハ1を照明する。ウェハ1で反射した4光束711', 712', 721', 722'は、ウェハ1の凹凸に応じて波面がシフトする。これらの光束は、第2の複屈折プリズム220, 1/2波長板215及び第1の複屈折プリズム200を通過して1つの光束7'に合成される。この合成された光束7'は、合成前の4光束の波面に応じた偏光状態となり、検出光路で特定の電界ベクトルの方向成分のみを光学センサに導いて結像させることにより、ウェハ面で直交する2方向の凹凸を高分解能で検出可能な微分干渉系が成り立つ。

【0013】

図3に微分干渉の原理を示す。シェアリングされた一方の光束を7aとする。この照明光は、位相の揃った平面波であり、ウェハ1上の段差dに応じて、反射光7bの波面は位相が $2d$ 変化する。この平面波とシェアリングされた他方の平面波の干渉により、パターンのエッジ部が明るく検出する事が可能である。尚、パターンのエッジ部を明るく検出し、平坦部を暗く検出するためには、複屈折プリズム200に入射する光線が直線偏光であり、シェアリング方向に対して入射偏光の振動方向がなす角は 45° が好ましい。これは、シェアリングされた2光線の振幅を同等程度にすることが望ましいことによる。

【 0 0 1 4 】

図 4 に検査装置の基本構成を示す。本構成では、微分干渉が可能な明視野照明と暗視野照明とが可能な構成を備えている。図 4 の構成において、光源 3（レーザまたはランプ光源）を射出した光は、1/2 波長板 1 3 に入射する。この 1/2 波長板 1 3 は、光軸を中心とした回転機構 1 3 d で入射偏光の振動方向に対して結晶軸のなす角が任意に制御可能な構成になっている。

【 0 0 1 5 】

尚、光学部品の回転機構は、光学部品の番号 [例：1 3] に「d」を付けて表示する [例：1 3 d]。1/2 波長板 1 3 を透過した光は P B S (Polarizing Beam Splitter) 1 1 に入射し、P B S 面に対応した偏光分岐比で光路が分けられる。P B S 1 1 を透過した光は、レンズ 1 6 及びレンズ 1 7 でビーム径を調整され、1/2 波長板 1 9 に入射する。1/2 波長板 1 9 を透過した光は、P B S 2 0 に対して S 偏光成分のみがウェハ側に反射され、対物レンズ 3 0 を透過してウェハ 1 を落射照明する明視野照明光となる。尚、1/2 波長板 1 9 を回転させることにより、P B S 2 0 に入射する光の偏光方向（電界ベクトル）を変更することが可能であり、明視野照明光の光量を連続的に調整することが可能である。

【 0 0 1 6 】

また、P B S 1 1 で反射した光は、メニスカスコーンレンズ 4 0 を透過することによりリング状（輪帯状）の中空光束 8 となり、レンズ 4 5 とレンズ 4 6 によりリングの径が調整される。この光は、P B S 5 0 で S 偏光成分がウェハ 1 側に反射し、回転機構 5 3 d により回転可能な 1/2 波長板 5 3 で P B S 2 0 に対して P 偏光に偏光回転させる。この光は P B S 2 0 を透過し、対物レンズ 3 0 の外側を通過してミラー 3 5 で反射して対物レンズ 3 0 の外側よりウェハ 1 を斜方照明する暗視野照明光となる。この暗視野照明光は、1/2 波長板 5 3 で P B S 2 0 に入射する偏光方向を調整することにより、光量を連続的に調整することが可能である。

【 0 0 1 7 】

暗視野照明によりウェハ 1 で散乱・回折した光の内、対物レンズ 3 0 の N A (Numerical Aperture) 内を透過した光は、1/4 波長板 2 6, 複屈折プリズム 2 2

0, 1/2波長板215, 複屈折プリズム200, 1/2波長板22を透過して、PBS20に対してP偏光成分が検出光路57に導かれる。これらの光はPBS50を透過し、結像レンズ60によりイメージセンサ80上にウェハ1の像を結像する。尚、1/4波長板26, 複屈折プリズム220, 1/2波長板215, 複屈折プリズム200, 1/2波長板22には、それぞれ光軸を中心とした回転機構26d, 220d, 215d, 200d, 22dが具備されている。また、明視野照明光もウェハ1上で反射・回折・散乱された光の内、対物レンズのNA内に伝搬した光は、暗視野検出光と同様の光路をたどってイメージセンサ80上にウェハ1の像を結像する。

【0018】

イメージセンサ80で検出した光強度分布は、光電変換されアナログ出力としてA/D変換器90に入力する。デジタル信号に変換された画像データは、画像処理部92に送られ、比較検査等により欠陥を検出する。この欠陥情報は、OC (operating Computer) に送られ、欠陥座標やその特徴量などが参照できるようになっている。また、イメージセンサ80がTDI (Time Delay Integration)型である場合は、ウェハ1を定速移動させながら画像を取得する必要がある。この場合、ウェハ1の移動とTDIの垂直転送を同期化することが望ましい。この場合は、MC (Mechanical Controllar) でウェハ1が移動した情報を取得し、TDIの垂直転送タイミングを制御する。

【0019】

ウェハ1は、水平面内を移動するためにYステージ102, Xステージ104に搭載されている。また、ウェハ1とステージ定速移動方向を平行に位置決めするためのθステージ106と対物レンズの光軸方向の位置決めをするためのZステージ108も必要である。これらの上にウェハチャック100が搭載されており、ウェハ1がチャッキングされている構成である。Yステージ102, Xステージ104, θステージ106のそれぞれの位置は、図示しないリニアスケールまたはレーザ測長器などによって測定されており、ウェハ1の移動情報（位置情報）は、これらのリニアスケールまたはレーザ測長器などから得るようにしても良い。

【 0 0 2 0 】

図 5 に暗視野照明光路に配置 2 ステージ 1 0 8 した 1 / 2 波長板 5 3 の構成を示す。1 / 2 波長板 5 3 は、暗視野照明光が通過する領域（リング状）に複屈折位相差材（例えば、水晶やフッ化マグネシウム等）が配置されている。この 1 / 2 波長板 5 3 の結晶軸と入射する直線偏光の電界ベクトル E_{in} のなす角度が 4 5 度に設定されているとする。この場合、1 / 2 波長板 5 3 を透過した直線偏光の電界ベクトル E_{out} は E_{in} に対して 9 0 °（結晶軸を挟み込む方向）をなす。尚、暗視野照明光が通過しない中央部 5 4 は、中空になっている。従って、1 / 2 波長板 5 3 と入射電界ベクトル E_{in} のなす角度を制御することにより、P B S 2 0 を透過する暗視野照明光の光量を調整することが可能となる。

【 0 0 2 1 】

また、明視野照明光と暗視野照明光の光量配分を調整する手段として、図 4 に示す 1 / 2 波長板 1 3 の結晶軸と 1 / 2 波長板 1 3 に入射する直線偏光の振動方向がなす角を調整することによって、P B S 1 1 の分岐比を調整することが可能となる。

【 0 0 2 2 】

図 6 に P B S 1 1 に入射する直線偏光 5 と入射偏光方向（S，P 偏光）の関係を示す。P 偏光方向と入射直線偏光 5 の振動方向 9 のなす角度を θ とする。明視野及び暗視野の照明光量と角度 θ の関係を図 7 に示す。 $\theta = 0^\circ$ の場合は、P B S 入射光が P 偏光となるため、光は全て透過する。図 4 の構成では透過光は明視野照明 7 側へ向かうため、暗視野照明光 8 側へ向かう光はなくなる。 θ を大きくすると、明視野照明光 7 側へ向かう光はコサインカーブの軌跡を描いて推移し、暗視野照明光 8 側へ向かう光はサインカーブを描いて推移する。このため、 θ を調整することにより明視野照明 7 側へ向かう光と暗視野照明 8 側へ向かう光の光量配分を調整することが可能となる。これにより、高感度検査を実現できる暗視野と明視野の照明光のバランスを調整することが可能となる。

【 0 0 2 3 】

図 8 に微分干渉による検査感度向上の効果を示す。ウェハ 1 にダイ 2 0 0 が規則的に配列されている。このダイ内には、同一のパターンが形成されており、比

較検査により欠陥を検出する。比較検査とは例えば、ダイ200aとダイ200bの同一パターン部の画像を位置合わせし、デジタル画像の濃淡差をもとめる。この濃淡差が特定のしきい値を超える部位を欠陥として検出する。しかし、ウェハ1には電氣的に絶縁させる膜（例えばSiO₂）が形成されている。このSiO₂膜は、光学的に透明であるため、膜の表面で反射した光と膜に下面で反射した光とによる干渉、いわゆる薄膜干渉を生じる。このため、図8（a）でダイ200aと隣接するダイ200bのSiO₂膜に膜厚むらがあると薄膜干渉に分布が生じ、検出した画像には明るさの違いとして検出される。このSiO₂膜の膜厚の違いが、デバイスにとって致命性が無い場合は、検査上この明るさむらは検出すべきではない。このため、従来はこの明るさむらを検出しないしきい値に設定する必要があった。このため、しきい値が高くなり、検査感度が低くなるという問題があった。

【0024】

図8（b）にダイ200の拡大図を示す。ダイ内にはパターン202が形成されており、他の領域はSiO₂で被覆されている。このSiO₂がダイ200aと隣接ダイ200bで膜厚が異なっているとす。この場合、A-A部における明視野検出時のデジタル画像の明るさ分布は、ダイ200aの分布（図8（c））とダイ200bの分布（図8（d））では平坦部の明るさがN値異なる。このため、しきい値はNよりも大きな値に設定する必要がある。これに対して、微分干渉の画像（ダイ200aは図8（e），ダイ200bは図8（f）に表す）では、平坦部を暗く検出することが可能であるため、SiO₂の膜厚むらに伴う明るさむらを抑制することが可能となる。このため、しきい値を小さな値に設定可能となり、明視野検出に比べて検査感度を向上させることが可能となる。尚、この効果は、平坦部を暗く検出することにより実現することが可能である。他の実現方法としては、暗視野検出により、平坦部を暗く検出することが可能であり、同様の効果が得られる。

【0025】

図9に明暗視野照明による効果を説明する。図9（a）で、ダイ200に反射率の低いパターン203と線状のパターン部（Line & Space：以下、L

& Sと示す) 2 1 1 が形成されているとする。これらの領域以外には S i O₂ が膜付けされているとする。また、このダイにはパターン 2 0 3 よりも反射率の低い欠陥 2 1 0 と L & S 部の太り欠陥 2 1 2 がある。このダイの A - A 部における明視野検出の光量分布を図 9 (b) に示す。明視野検出では、反射率が低いパターン 2 0 3 上の暗い欠陥 2 1 0 の信号レベル S 2 1 0 b は低く、欠陥検出が困難である。これに対して反射率の低い太り欠陥は、明るい背景に形成されているため、比較的濃淡差 S 2 1 2 b が大きくなり、欠陥検出が容易である。従って、背景と欠陥部の明るさの違いが大きい場合は、欠陥検出が容易になる。

【 0 0 2 6 】

暗視野検出の A - A 部の光量分布を図 9 (c) に示す。暗視野検出では、ウェハ 1 上の凹凸を明るさとして検出できるため、反射率の低いパターン上にあるさらに反射率の低い凸欠陥を高い信号レベル S 2 1 0 c で検出することが可能である。これに対して暗視野照明は、光学的に横分解能が低いため、太り欠陥の信号レベル S 2 1 0 c は低くなる。このため、欠陥 2 1 0 を検出しやすい方式は暗視野検出であり、欠陥 2 1 2 を検出しやすい検出方式は明視野検出である。そこで双方の欠陥の信号レベルを平均的に高め、それぞれの欠陥を検出し易くする検出方式が明暗視野照明である。これは、明視野照明と暗視野照明を複合したものである。この明暗視野照明をした場合の A - A 部における光量分布を図 9 (d) に示す。

【 0 0 2 7 】

欠陥 2 1 0 及び太り欠陥 2 1 2 の信号レベル S 2 1 0 d と S 2 1 2 d は明視野照明と暗視野照明の信号レベルの平均的な値となる。この明視野照明により、平均的に検査感度を向上することが可能となる。また、明視野照明と暗視野照明の光量バランスを調整することにより、様々なパターンが形成されたパターンに対しても検査感度を向上する照明光量バランスを実現することが可能となる。図 1 0 に、明視野照明と暗視野照明の照明エリアを調整する手法について説明する。明視野照明光路と暗視野照明光路には、それぞれ視野絞り (図 4 において、明視野用視野絞り 1 8, 暗視野用視野絞り 4 7) が配置されている。例えば、この視野絞りにより照野 3 2 の半分 8 4 を明視野照明し、他の半分 8 5 を暗視野照明す

る。尚、イメージセンサ 8 0 は、T D I 型であり垂直転送する方向 1 0 1 に明視野照明光 8 4 a と暗視野照明光 8 5 a が共に加算されるように配置する。明視野照明及び暗視野照明の画像を 1 つのイメージセンサ 8 0 で個別に検出する方法を図 1 1 に示す。明視野照明された領域 8 4 に対応した T D I イメージセンサ 8 0 を構成する C C D (C h a r g e C o u p l e d D e v i c e) の領域と暗視野照明された領域 8 5 の C C D を並列に出力する。尚、T D I による垂直転送方向は 1 0 1 ' である。並列に出力されたアナログ画像データは、それぞれの A / D 変換器 9 0 a , 9 0 b でデジタル画像に変換され、画像処理部 9 2 a , 9 2 b により欠陥を検出する。それぞれで検出した欠陥は、その照明方式により、形状に特徴がある。例えば、暗視野検出で検出した欠陥は、光軸方向に凹凸のある欠陥である。このため、例えば、異物のような凹凸欠陥は、暗視野照明で検出した欠陥であるというような光学的な欠陥分類が可能となる。これにより、大量に欠陥を検出した場合などの、欠陥観察時には、観察したい欠陥を選択的にレビューすることが可能となる。これにより、半導体製造プロセスの異常や製造装置の発塵などを早期発見することが可能である。これにより、半導体製造歩留まりを高レベルに維持することが可能となる。尚、図 1 0 で示した明・暗視野照明領域の分割を行わず、明視野と暗視野照明光を重複させて照明する方法も当然考えられる。

【 0 0 2 8 】

図 1 2 (a) に S i O ₂ に膜厚むらがある場合の明視野検出画像を示す。隣接するダイの画像を (a 1) と (a 2) に示す。(a 1) のには、S i O ₂ に膜厚むらがあり、2 0 1 a に示す反射率の分布 (明るさむら) がある。これに対して、(a 2) には 3 種類の欠陥 d 1 , d 2 , d 3 がある。(a 1) と (a 2) の設計上の同一座標 a a 部と b b 部の光量分布をそれぞれに示す。また、(a 1) と (a 2) の差画像を (a 3) に示す。S i O ₂ の膜厚むらに伴う明るさむらを欠陥として検出しないためには、しきい値を T h 1 に設定する必要がある。このしきい値 T h 1 にした場合、d 1 , d 2 は検出可能であるが、d 3 は検出することができない。特に、d 3 は、明るい領域にある暗い欠陥であり、比較する隣接ダイの明るさが薄膜干渉の影響により暗くなっているため、濃淡差の絶対値が小さ

くなっている。これに対して、(b)に暗視野照明の画像を示す。この場合、明るさを抑制できるため、しきい値を小さく設定できている。これにより、3種類の欠陥を検出することが可能となる。

【0029】

図13に光学系の横分解能（対物レンズの光軸に垂直な面内の分解能）を向上させる手法を示す。(a)に検査対象となるウェハ1の表面にy軸に平行なラインアンドスペースが形成されているとする。ウェハ1を垂直に直線偏光が照明されるとする。この直線偏光Aの電界ベクトルをxy平面に投射した方向とy軸のなす角度を θ_1 とする。この場合の回折効率の一例を(b)に示す。入射偏光Aとy軸のなす角 θ_1 が平行な場合は0次光の強度が強く、直交する場合は1次光の強度が強い結果を得ている。像面に形成される光学像は、0次光と1次光の干渉により形成されるため、像の高コントラスト化には、0次光と1次光の振幅が同等であることが望ましい。しかし、ウェハ1に形成されているパターンが微細になると、回折角が大きくなるため、対物レンズのNA内に伝搬する高次回折光の割合が低くなる。このため、高次回折光が像面に到達する振幅が小さくなり、光学像のコントラストが低下する。この微細パターンの像コントラストを向上させる手法として、例えば、入射偏光Aとy軸のなす角を 50° 付近に設定することにより、0次光と1次光の回折効率は0.11程度になる。(c)に対物レンズで屈折した0次光と高次回折光の電界ベクトルをxy平面に投射し、xy方向に分解したスカラーを示す（対物レンズで屈折後の光線は、光軸に平行であると近似した）。0次光のx方向成分を D'_{0x} 、y方向成分を D'_{0y} 、1次光のx方向成分を D'_{1x} 、y方向成分を D'_{1y} とする。この場合、入射偏光Aとy軸のなす角を 50° 付近では、 D'_{0y} と D'_{1x} の成分が回折効率0.09程度である。このため、x方向及びy方向と 45° の角度をなす方向の電界ベクトルのみを検出するようにアナライザを配置することにより、0次光と1次光の振動方向が平行でかつ、振幅が同等程度にすることが可能である。これにより、光学像の高コントラスト化を図ることが可能となる。

【0030】

図14(a)にPBSで直線偏光された光の振動方向7aについて、光軸と垂

直な断面 31 (xy 面) で示す。直線偏光された光の振動方向は、y 軸に平行に揃っている。これに対して、ウェハ 1 上に形成された様々な方向のパターンを高コントラストに検出するためには、光軸を中心とした同心円の接線方向に偏光を振動させる必要がある (b)。これを実施する実施例を図 15 に示す。(a) に PBS 20 で反射した光の振動方向を示す (本図では、x 軸方向に平行な方向に振動する直線偏光であるとした)。この直線偏光を V 字型に厚さを変化させた複屈折波長板 216 に入射させる (b)。この複屈折波長板は、周辺部で $n\lambda + \lambda/2$ の複屈折位相差となるような厚みとなっており、中心部は、 $n\lambda$ の複屈折位相差となる厚みとなっている。この波長板の結晶軸を x 軸に対して 45° に設定する。これにより、波長板を透過した光は、x 軸上の両端で波長板通過前の偏光に対して 90° 振動方向が回転する (c)。但し、両端以外の位置においては、楕円偏光になる。この構成により、波長板通過前の偏光に対しては、光軸の同心円に対して接線方向成分が多くなり、比較的様々な方向のパターンを高コントラストに検出することが可能となる。他の実施例として、図 16 に波長板の貼り合わせによる方法を示す。PBS 20 で直線偏光にされた光の振動方向を (a) に示す。振動方向は x に平行であるとした。これに対して、4 枚に分割した $1/2$ 波長板を隣り合う波長板の結晶軸 (遅相軸) が直交する方向に貼り合わせる (b)。この波長板を通過した直線偏光は (c) に示す通り、光軸を中心とする同心円に対して接線方向となる。この直線偏光を 4 分割した $1/4$ 波長板に入射させる (貼り合わせにより隣り合う $1/4$ 波長板の遅相軸は直交するように配置する) (d)。この貼り合わせ $1/4$ 波長板の結晶軸を入射偏光の振動方向に対して $\theta 1$ の角度をなすことにより、通過した偏光の楕円率は $\tan \theta 1$ となる。これにより、直交するパターンに対しては、それぞれ高コントラストに像を検出することが可能となる。

【0031】

図 17 に微分干渉と楕円偏光の組み合わせによる光学系について示す。PBS 20 を反射した直線偏光は、複屈折プリズム 200 に入射し、2 光束にシェアリングされる。これらの光は $1/2$ 波長板 22 で偏光の振動方向が回転され、 $1/4$ 波長板で楕円偏光になる。対物レンズ 30 でウェハ 1 を照明した楕円偏光は、

ウェハで正反射して再び対物レンズ 3 0 に補足される。ウェハで正反射した光は、位相の飛びを受けて、再び $1/4$ 波長板 2 6 に入射する。 $1/4$ 波長板 2 6 を通過した光は再び直線偏光となり、 $1/2$ 波長板 2 2 に入射する。さらに、複屈折プリズム 2 0 0 により 2 光束は同軸化される。同軸化された光振動方向の合成ベクトルのうち、P B S 2 0 に対して P 偏光成分が透過し、検出光路に導かれる。これらの光は、結像レンズ 6 0 により、イメージセンサ 8 0 上にウェハ 1 の像を形成する。尚、 $1/4$ 波長板 2 6 が不在構成においても高次回折光は、0 次光に対して伝搬する方向が異なるため、0 次光に対して異なる振動方向となる。このため、0 次光が P B S 2 0 を透過しない S 偏光成分であったとしても高次回折光は P B S を透過する成分がある。このため、1) 微分干渉による縦分解能向上
2) 0 次光に対して高次回折光を強調して検出による横分解能向上の相乗効果により、検査感度を向上することが可能となる。また、シェアリング方向を変更可能とするため、複屈折プリズム 2 0 0 と $1/2$ 波長板 2 2 及び $1/4$ 波長板 2 6 はそれぞれ光軸を中心とした水平面内に回転可能な機構 2 0 0 d, 2 2 d, 2 6 d が具備されている。

【 0 0 3 2 】

微分干渉では平坦部を明るく検出したり、暗く検出したり調整することが可能である。特に、ウェハ 1 の表面に SiO_2 が形成されていなかったり、 SiO_2 の膜厚むらが無いようなウェハ 1 では、平坦部を明るく検出した方が検査感度が向上することもある。そこで、微分干渉による平坦部の検出光量を調整する手法を図 1 8 に示す。P B S 2 0 を反射した直線偏光は、 $1/4$ 波長板 2 0 4 に入射する。例えば、 $1/4$ 波長板 2 0 4 の結晶軸と直線偏光の振動方向のなす角を 45° に設定する。この場合、 $1/4$ 波長板 2 0 4 を透過した光は円偏光となる。この円偏光を複屈折プリズム 2 0 0 に入射させ、2 光束にシェアリングする。これらの光は、 $1/2$ 波長板 2 2 と $1/4$ 波長板 2 6 を通過して 2 光束で楕円の長軸が直交する楕円偏光となる。対物レンズ 3 0 を介してウェハ 1 を照明した光は、再び対物レンズ 3 0, $1/4$ 波長板 2 6, $1/2$ 波長板 2 2 及び複屈折プリズム 2 0 0 を介して $1/4$ 波長板 2 0 4 に入射する。この場合、ウェハ 1 上に段差が無い場合は、 $1/4$ 波長板 2 0 4 を通過した光は P B S に対して P 偏光となり

、大半の光が検出光路 5 7 に導かれ、像面で光学像を形成する。この構成により、平坦部を明るく検出することが可能となる。尚、 $1/4$ 波長板 2 6 で調整される楕円率に応じて、検出光路 5 7 に導かれる光量は変化する（例えば、 $1/4$ 波長板 2 6 の結晶軸が、入射偏光に対して平行あるいは直交している場合は、検出光路に導かれる光量が多い）。また、 $1/4$ 波長板 2 0 4、複屈折プリズム 2 0 0、 $1/2$ 波長板 2 2、 $1/4$ 波長板 2 6 は、それぞれ光軸を中心とする回転機構が具備されている（図面の数字で「d」が付加されている部位）。さらに、 $1/4$ 波長板 2 6 により、楕円偏光にされた成分は、複屈折プリズム 2 0 0 で照明時の光路と異なる光路をたどることになる。これにより、光学像はゴーストのような二重像に見えることになる。この二重像のシフト量はシェアリング量と関連し、二重像の強度は $1/4$ 波長板 2 6 の楕円率に関連する。この二重像は比較検査をする上では、欠陥検出上打ち消されてしまうため、問題とはならない。また、 $1/4$ 波長板 2 0 4 の結晶軸と P B S を反射して直線偏光となる照明光の振動方向を平行に配置することにより、平坦部を暗く検出する条件が成り立つ。また、単なる微分干渉効果を期待する場合は、 $1/4$ 波長板 2 6 に入射する偏光の振動方向（2 光束は直交した振動）に対して、遅相軸と進相軸を直角・平行になるように配置することにより実現可能である。従って、微分干渉効果を期待する場合は、 $1/2$ 波長板 2 2 と $1/4$ 波長板 2 6 が無くても良い。

【 0 0 3 3 】

図 1 9 に、以上に説明した全ての構成をまとめた実施例を示す。照明光路は、明視野照明光路 7 と暗視野照明光路 8 に分かれており、それぞれ、ウェハ 1 を照明する。P B S 2 0 を反射した明視野照明光は、 $1/4$ 波長板 2 0 4、複屈折プリズム 2 0 0、 $1/2$ 波長板 2 1 5、複屈折プリズム 2 2 0、 $1/2$ 波長板 2 2、 $1/4$ 波長板 2 6、0 次光対応位相差板 2 7（照明光の透過率の高いガラス材に開口絞りの開口部に対応した位置に位相膜を配置）を通過し、直交方向に 4 光束にシェアリングされた光として対物レンズ 3 0 を介してウェハ 1 を照明する。ここで、0 次光対応位相差板 2 7 とは、開口絞りが輪帯状の開口部を有しており、この開口に対応した領域に位相差 π （波長の $1/2$ の光路）を加える位相差膜が形成されている。これにより、ウェハで正反射した 0 次光に位相差 π を与え、

位相差膜のない領域を通過した高次回折光には位相差が与えられない。このため、0次光対応位相差板27が無い場合に、低いコントラストであったウェハ段差を0次光対応位相差板27を配置することにより、高コントラストに検出することが可能となる。尚、0次光対応位相差板27が無くても十分高コントラスト像が検出できる場合は、0次光対応位相差膜を配置する必要がない。この場合は、0次光対応位相差板27を光路から外して、厚さの一樣なガラス材を配置する。これは、ケーラー照明の場合、輪帯状の開口絞りは対物レンズ30の瞳と共役な位置近傍に配置する必要がある。このため、0次光対応位相差板27も対物レンズ30の瞳位置付近か瞳位置と共役な位置（開口絞りと共役な位置）に配置する必要がある。この瞳位置付近にガラス板を配置する場合は、波面収差が生じるため、対物レンズ30の設計段階で0次光対応位相差板27による波面収差を補正するような設計をする必要がある。このため、0次光対応位相差板27が不要な場合は、これを除去する代わりに、同等の材質・板厚のガラス27aを配置する機構29が必要となる。以上の構成により、ウェハ1上で反射・回折・散乱した光のうち、PBS20に対してP偏光成分が検出光路に導かれ、結像レンズ60により、ウェハ1の像をイメージセンサ80上に結像する。

【0034】

以上に示した実施例は、本発明の一例であり、これらの組み合わせは、容易に考えられる。従って、本実施例で示した内容の構成をどのような組み合わせで使っても本発明の範囲であることは容易に推測できる。

【0035】

また、実施例に記載の光学像検出方式として多数の光学条件を示した。このため、初めて検査を行うウェハ1では検査に有利な光学条件を見出す時間が莫大になってしまう。このため、検査を行ったそれぞれの条件について、①検査感度（検出欠陥数、疑似欠陥）②検出欠陥の特徴量（サイズ、方向性、欠陥の存在するレイヤ、欠陥の座標、致命性）③検査対象ウェハ1の特徴（デザインルール、主たるパターンの方向性、検査対象レイヤの材質、SiO₂膜の有無、致命性の高い欠陥の特徴（パターン欠陥〔ショート、断線等〕、異物等）等をOC95のデータベースに蓄積していく。新たな品種・工程のウェハを検査する場合は、こ

これらの情報に対応した推奨条件を自動的に選択することにより、光学条件設定の短時間化を図る。

【 0 0 3 6 】

【発明の効果】

以上に説明したように、本発明によれば、直交する2次元方向に光束をシェアリングし微分干渉させることにより、ウェハの段差を明るさの違いとして検出することが可能となる。また、平坦部を暗く検出する条件では、ウェハ上に形成されたSiO₂等の透明膜による薄膜干渉に伴う明るさむら（デバイスにとって致命性なし）を抑制でき、検査感度を向上することが可能である。この効果は、暗視野照明によっても実現可能である。さらに、金属配線等で形成されるグレイン（凹凸等）がデバイスにとって致命性が無い場合は、明暗視野複合照明によりコントラストを低減できる。さらに、0次光の振幅を抑制して光学像を形成させる楕円偏光照明により、パターンコントラストを向上可能である。また、高次回折光に対して0次光に位相差を加えることにより、低いコントラストの像を高コントラストに検出することが可能である。以上の光学条件により、様々な品種・工程の検査対象に対して、欠陥検出上有利な光学条件を選択することにより、高感度検査を実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 光軸と垂直な面内の2次元微分干渉を実現する構成。

【図2】 2次元シェアリングの概要。

【図3】 微分干渉の説明。

【図4】 本実施例の構成。

【図5】 暗視野照明用1／2波長板の外観。

【図6】 PBS入射偏光の定義

【図7】 明視野照明と暗視野照明の光量配分量の概要。

【図8】 暗視野検による明るさむら抑制効果の説明。

【図9】 明暗視野照明による効果。

【図10】 明・暗視野の分離照明に関する説明。

【図11】 明・暗視野照明像の分離検出に関する一例。

【図 1 2】暗視野照明による効果の一例。

【図 1 3】0 次光の振幅抑制に関する一例。

【図 1 4】0 次光振幅抑制に関する電界ベクトルの例。

【図 1 5】等方的偏光照明の一例。

【図 1 6】等方的偏光照明の一例。

【図 1 7】微分干渉と 0 次光振幅抑制検出の一例。

【図 1 8】微分干渉と 0 次光振幅抑制検出の一例。

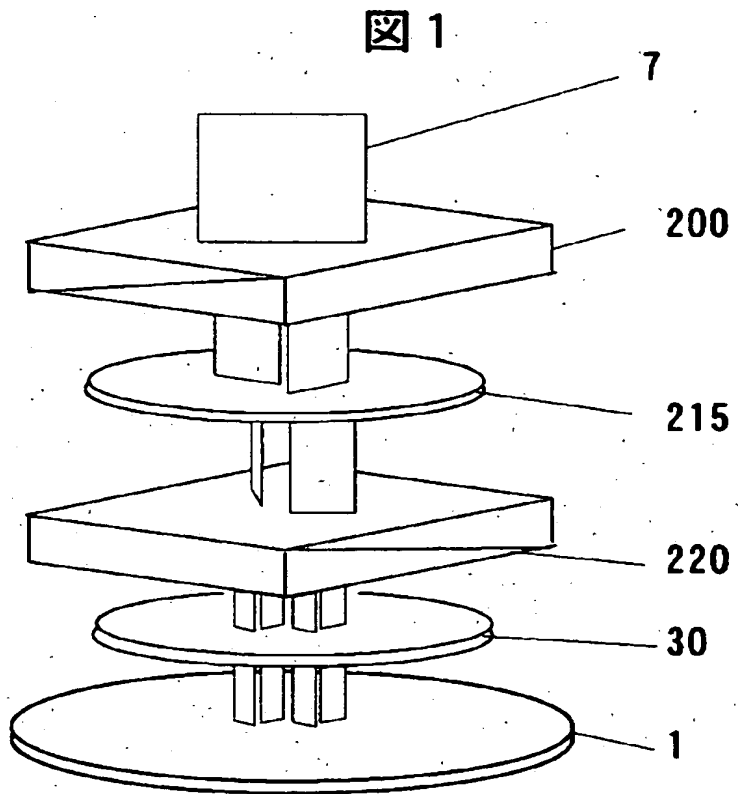
【図 1 9】微分干渉，0 次光振幅抑制検出，0 次光位相差検出，暗視野照明を搭載した光学系の構成。

【符号の説明】

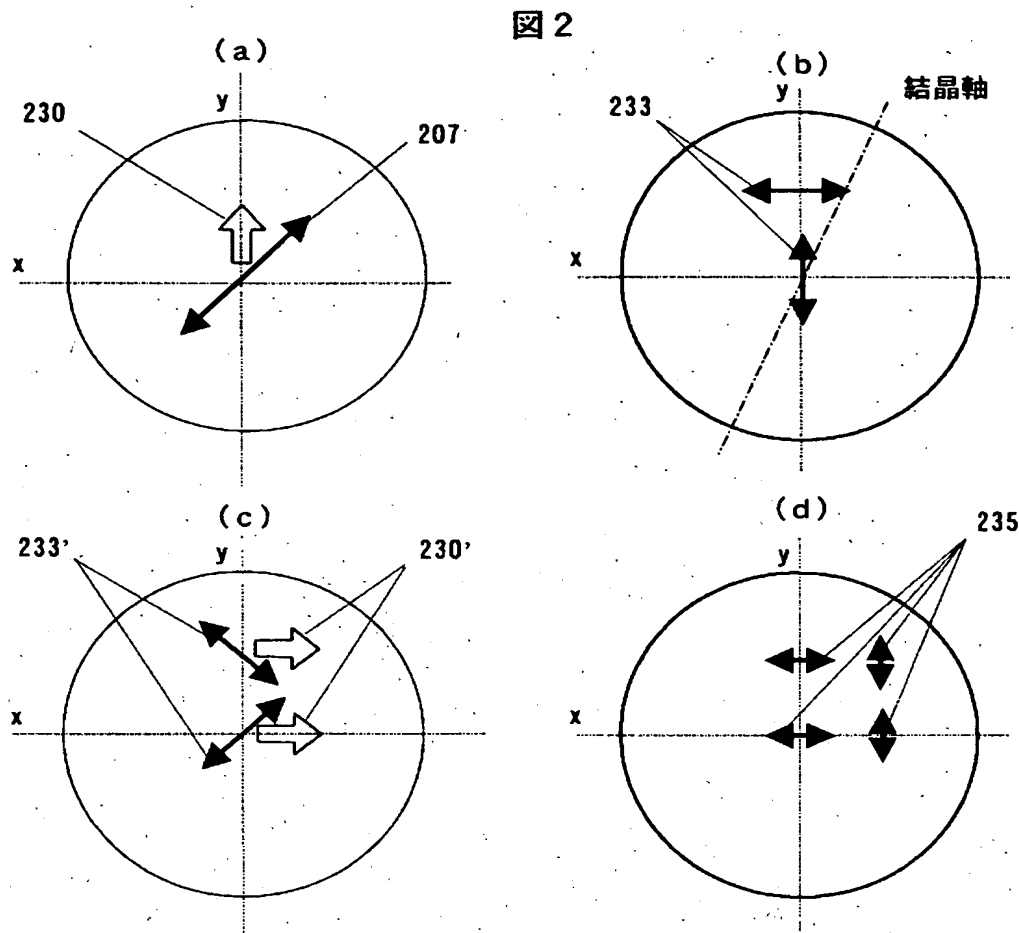
1…ウェハ，3…光源，5…照明光，7…明視野照明光，8…暗視野照明光，13…PBS，13…明暗視野光量分岐用 1/2 波長板，15…1/2 波長板回転機構，20…PBS，22…1/2 波長板，26…1/4 波長板，17…0 次光位相差板，30…対物レンズ，35…暗視野照明用ミラー，50…暗視野照明用 PBS，60…結像レンズ，80…イメージセンサ，200…複屈折プリズム，215…直交シェアリング用 1/2 波長板，220…第 2 の複屈折プリズム

【書類名】 図面

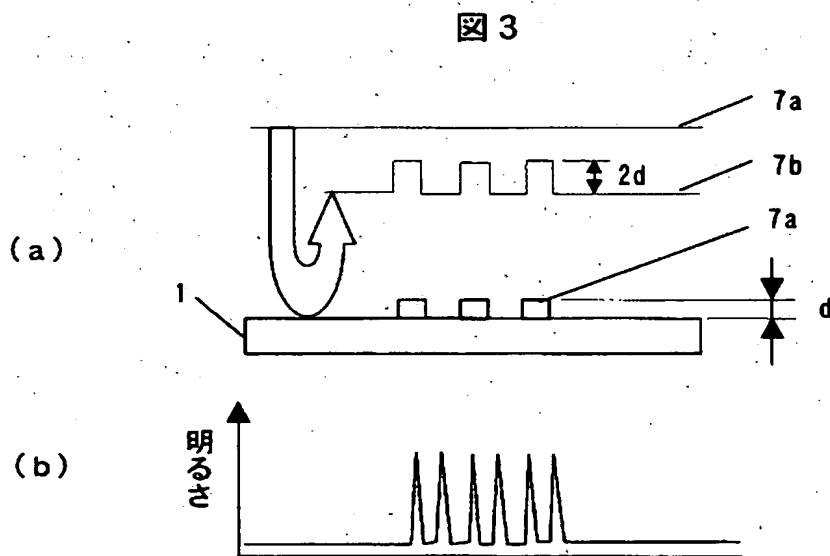
【図 1】



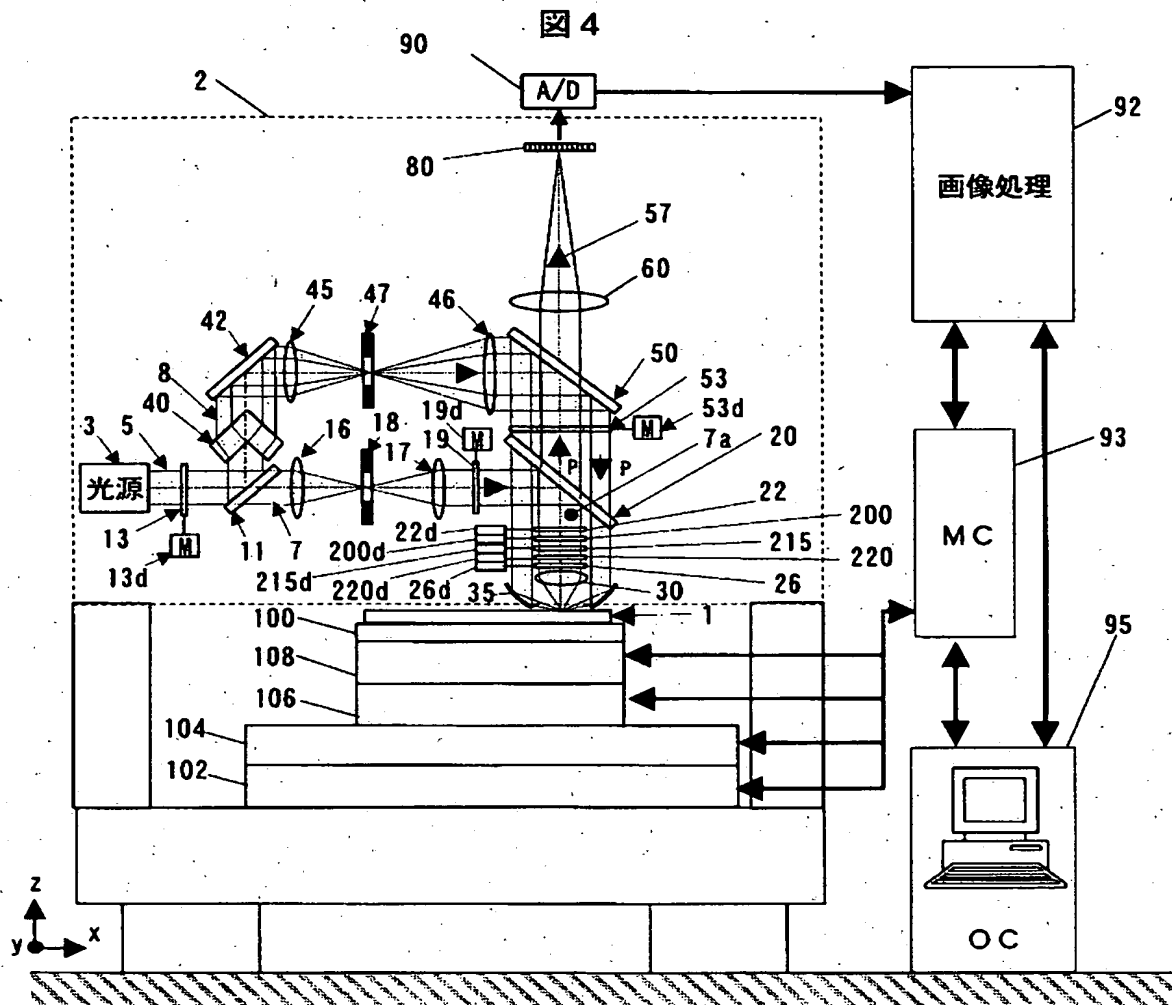
【図 2】



【図 3】

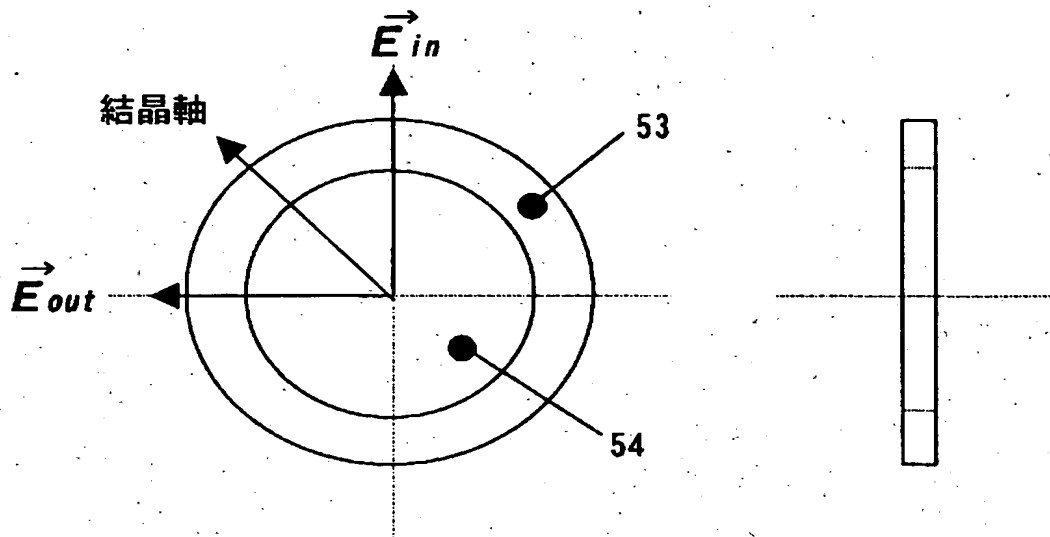


【図 4】



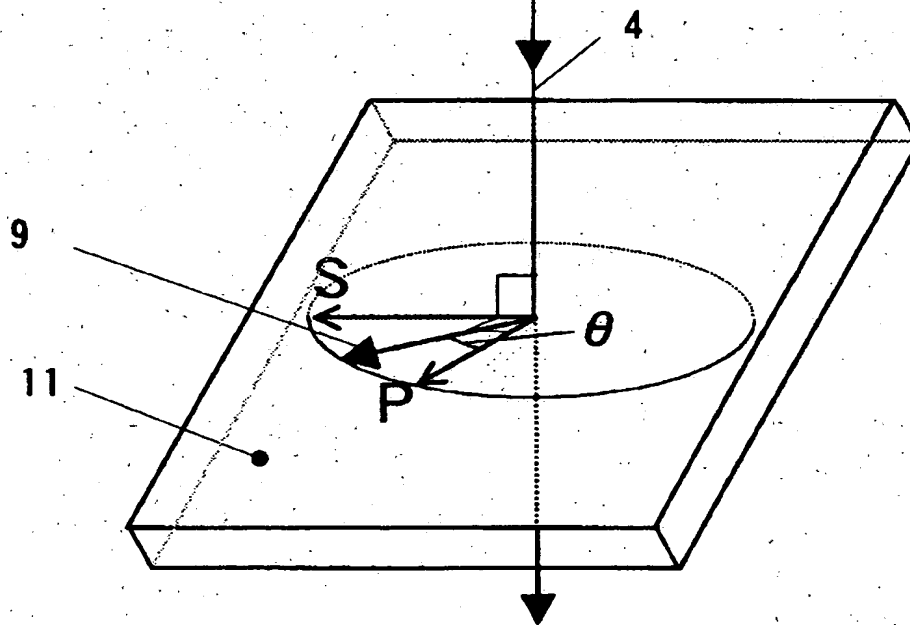
【図 5】

図 5

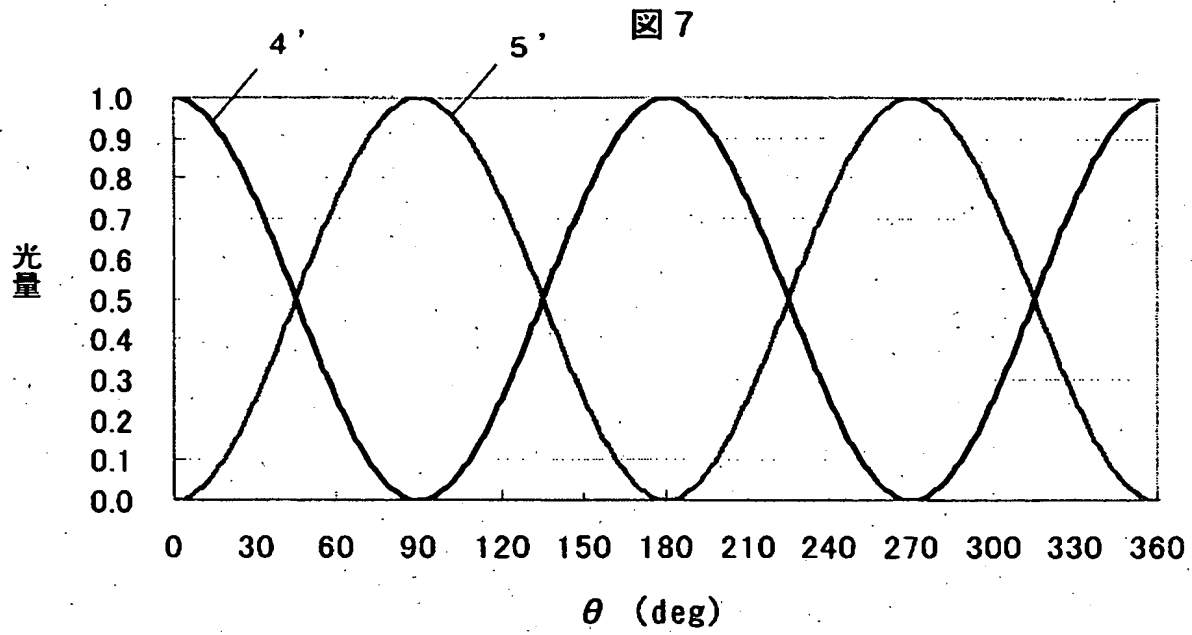


【図 6】

図 6

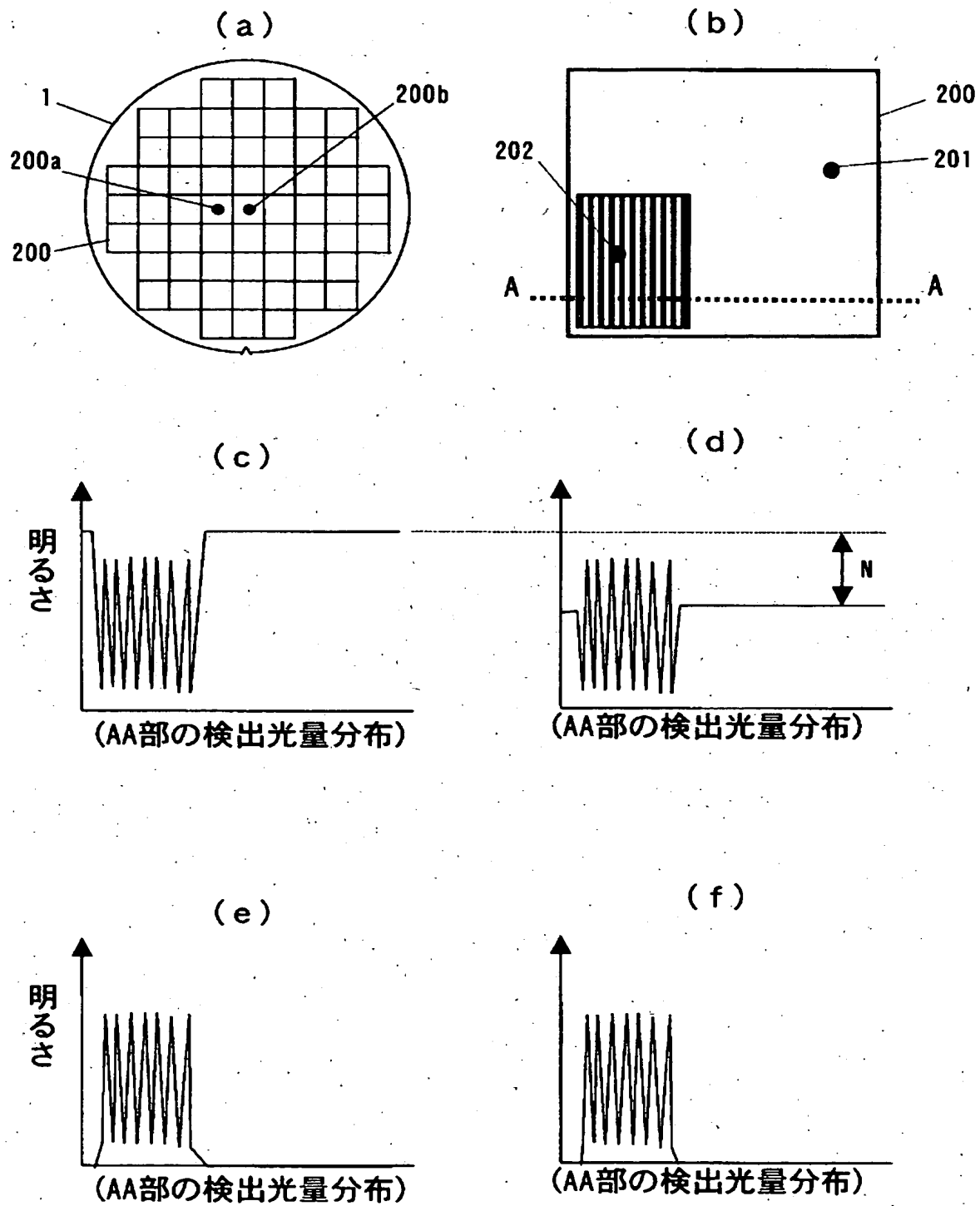


【図 7】



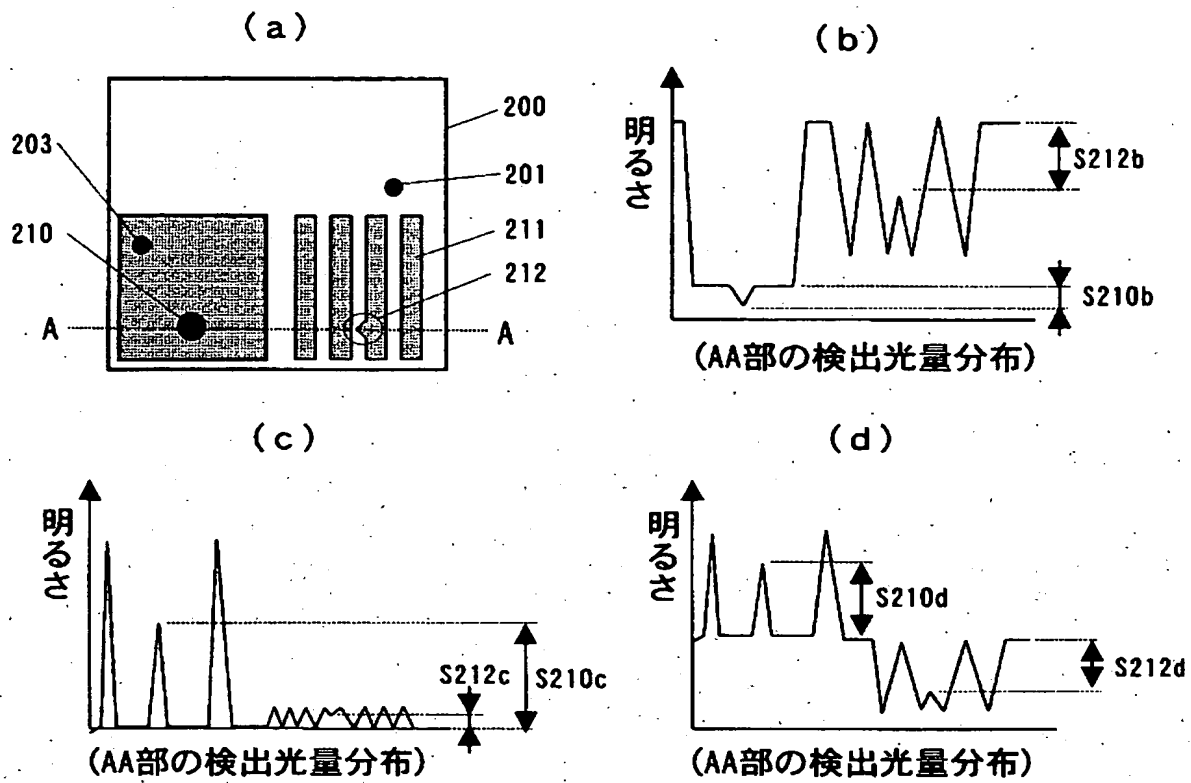
【図 8】

図 8



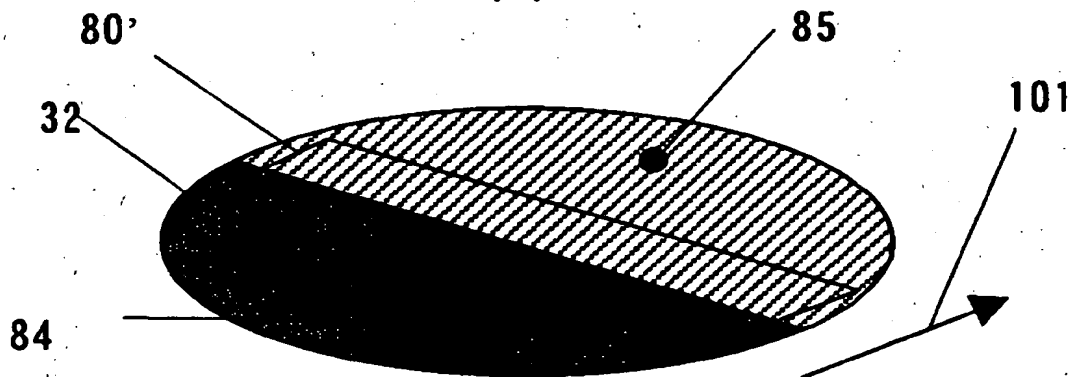
【図 9】

図 9



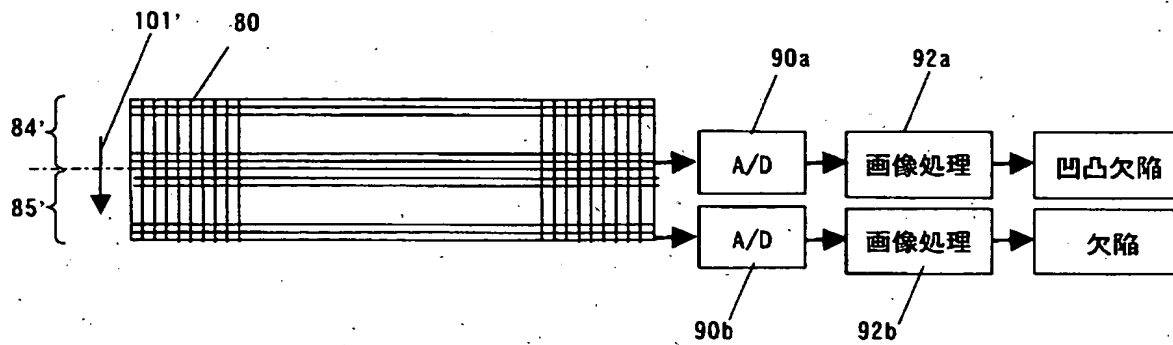
【図 10】

図 10



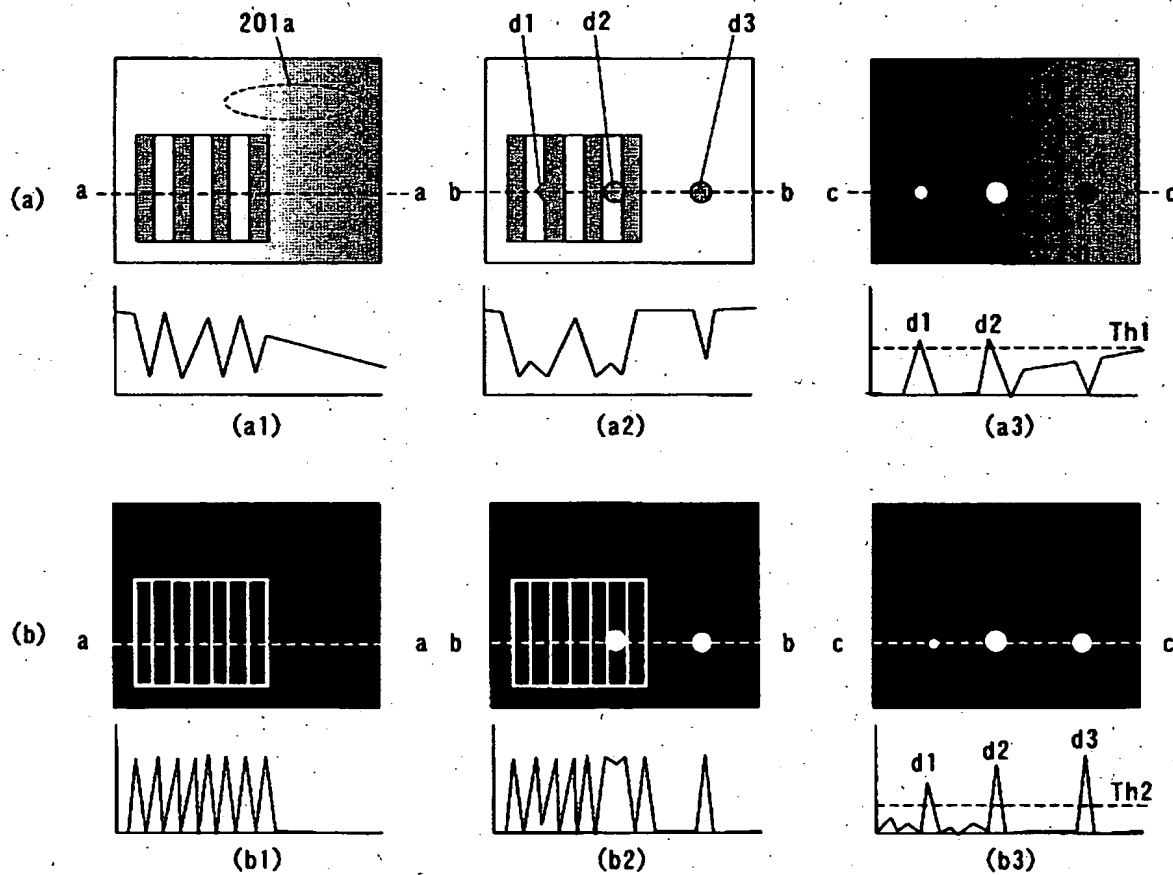
【図 1 1】

図 1 1



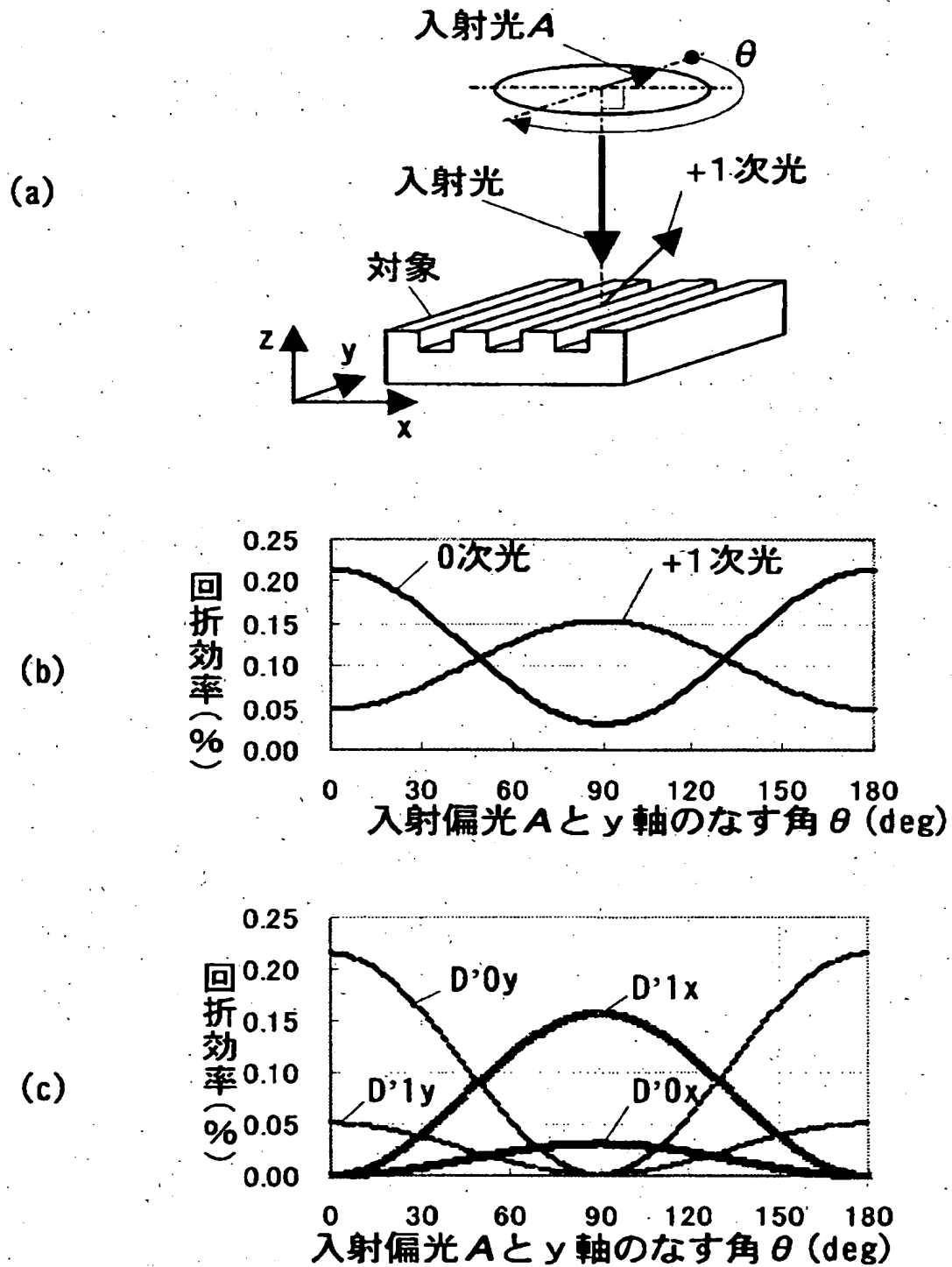
【図 1 2】

図 1 2



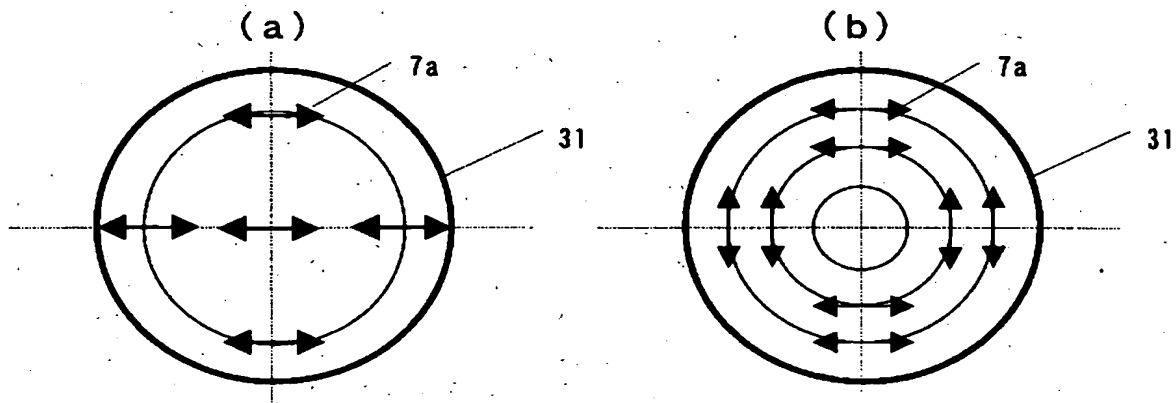
【図 13】

図 13



【図 1 4】

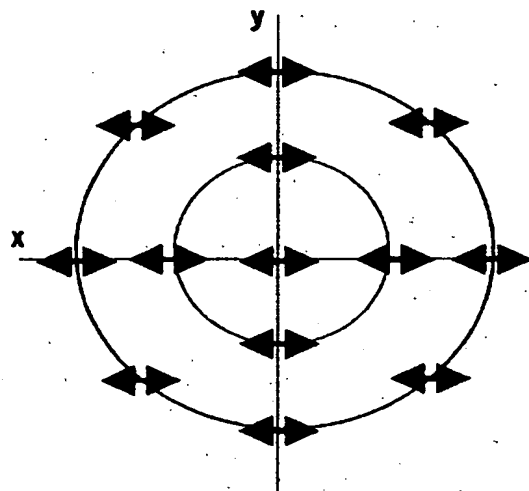
図 1 4



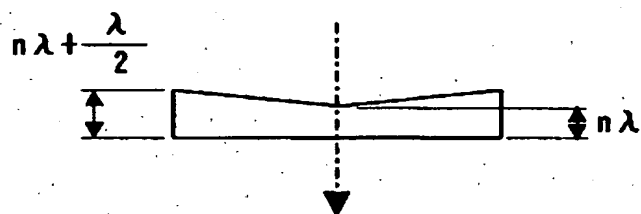
【図 15】

図 15

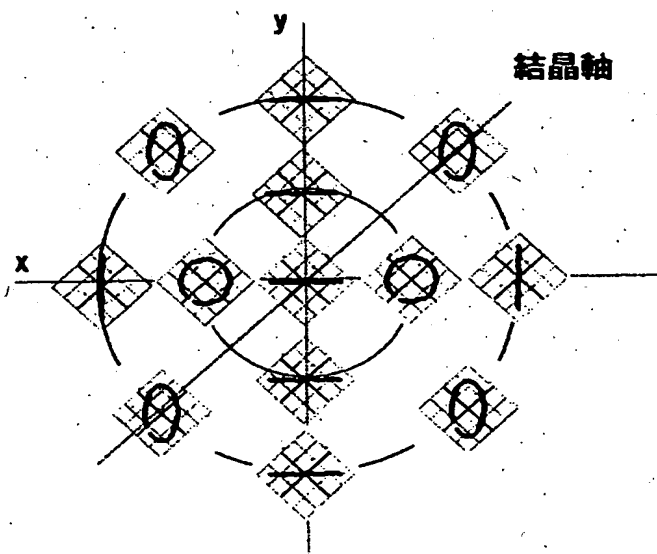
(a)



(b)

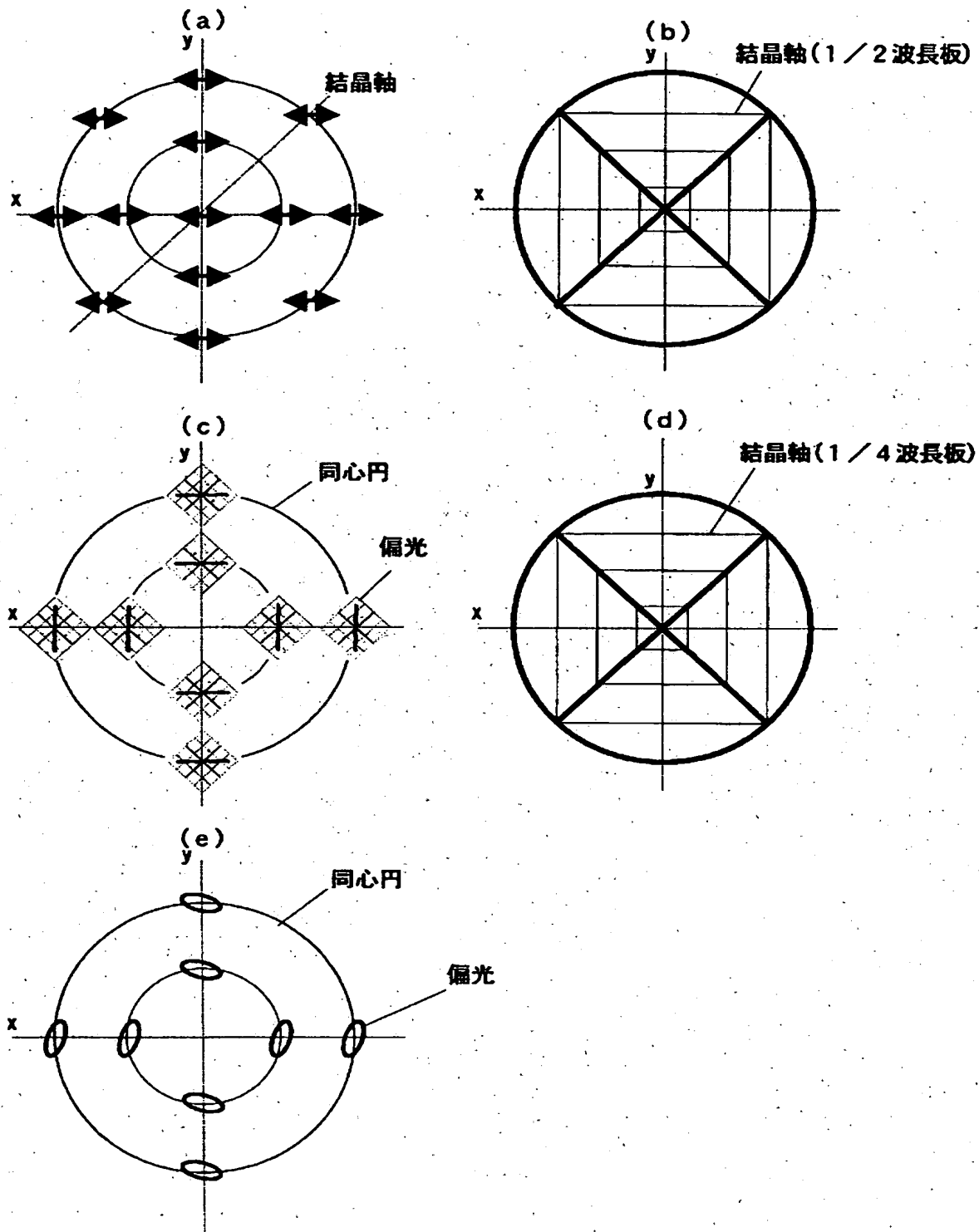


(c)

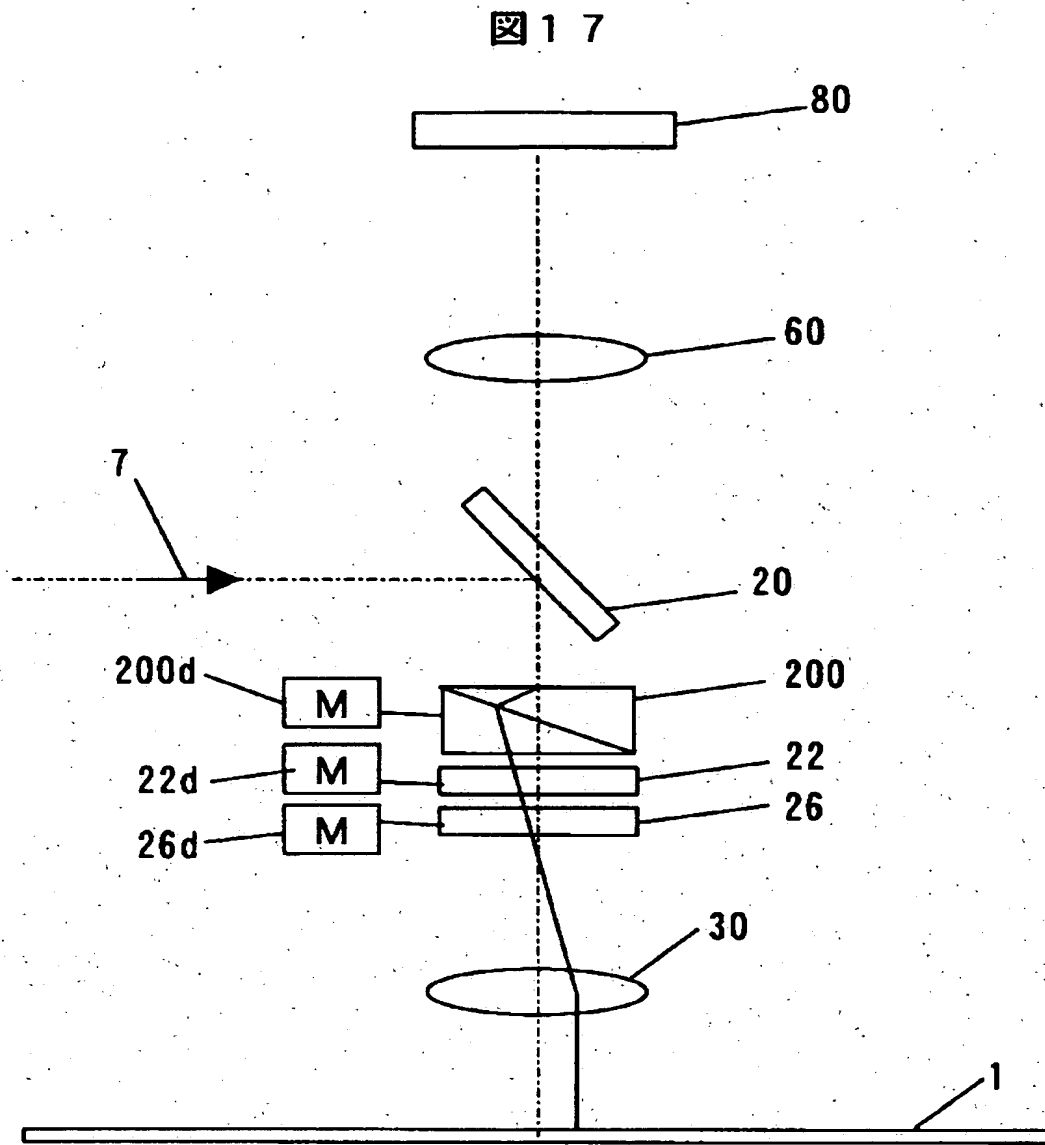


【図 16】

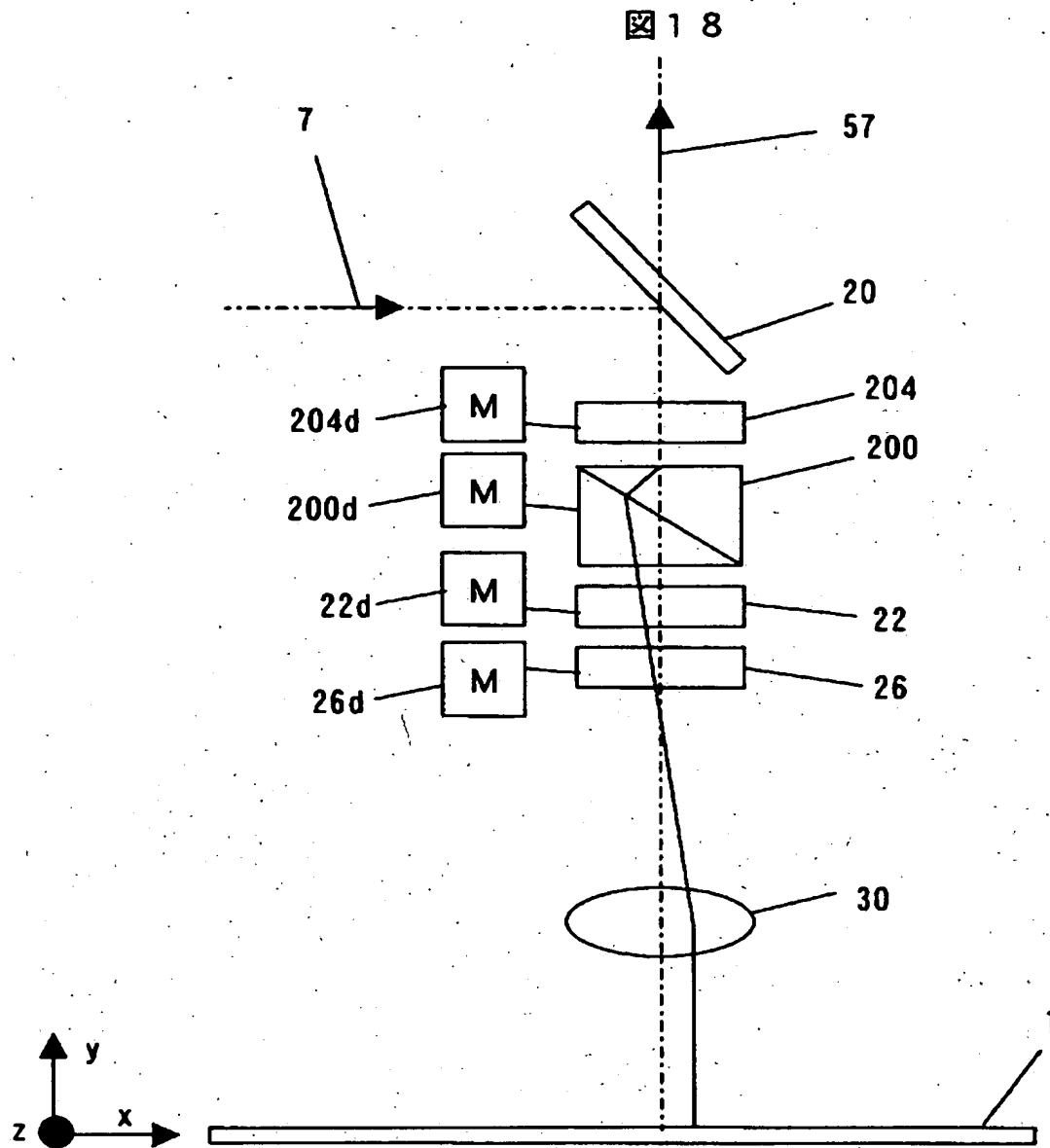
図 16



【図 17】

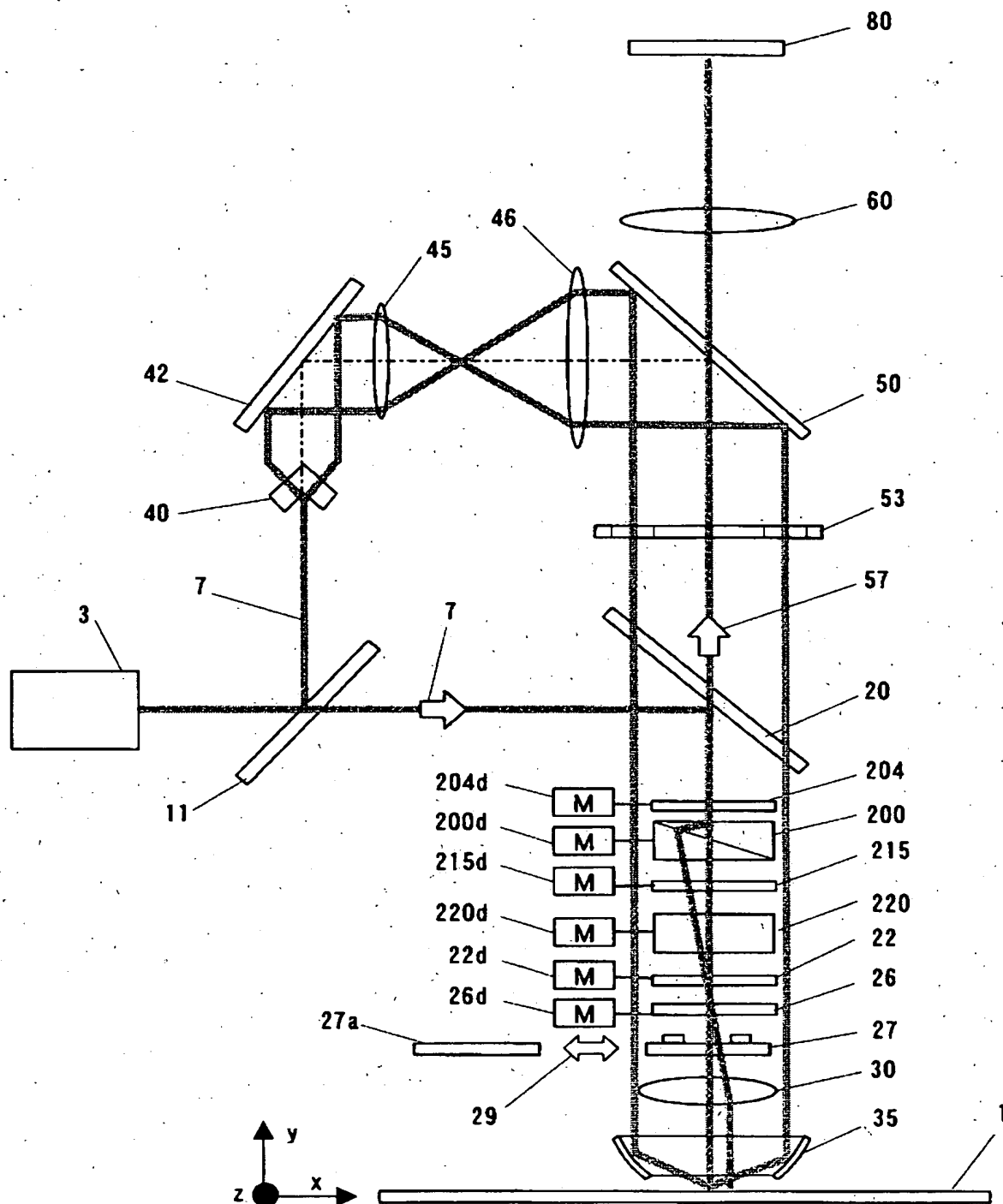


【図 1 8】



【図 19】

図 19



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】

デザインルールの微細化に伴って欠陥検出感度の向上が必要であるが、光学系の分解能が不足している。このため、光学系の横方向と縦分解能向上を図り、欠陥検出感度の向上を図る必要がある。

【解決手段】

縦分解能向上を図るため、1) 光軸と垂直な面内を2次元方向に光束をシェアリングした微分干渉検出2) 0次光位相差検出を可能とする。また、横分解能向上を図るため、等方的0次光振幅抑制検出を行う。さらに、比較検査上ノイズ成分となる薄膜干渉に起因した明るさむらについては、微分干渉と暗視野照明により抑制する。さらに、金属配線上の非致命グレインについても明暗視野複合照明によりグレインのコントラストを低減する。以上の構成により、様々な品種・工程の検査対象においても高感度検査を実現できる。

【選択図】 図4

特 2002-321964

認定・付加情報

特許出願の番号	特願 2002-321964
受付番号	50201672111
書類名	特許願
担当官	第一担当上席 0090
作成日	平成14年11月 7日

<認定情報・付加情報>

【提出日】 平成14年11月 6日

次頁無

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000005108]

1. 変更年月日 1990年 8月31日

[変更理由] 新規登録

住 所 東京都千代田区神田駿河台4丁目6番地
氏 名 株式会社日立製作所